Aus der Universitäts-Augenklinik Basel
(Direktor: Professor Dr. A. Brückner)

Untersuchungen über Farbenschwäche bei Konduktorinnen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von
Max Wieland, med. pract.
von Rheinfelden (Aargau)

1933 - Buchdruckerei Keller & Co. A. G., Luzern

Aus der Universitäts-Augenklinik Basel
(Direktor: Professor Dr. A. Brückner)

Untersuchungen über Farbenschwäche bei Konduktorinnen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von
Max Wieland, med. pract.
von Rheinfelden (Aargau)

1933 - Buchdruckerei Keller & Co. A. G., Luzern

Von der medizinischen Fakultät genehmigt

auf Antrag von Prof. Dr. A. Brückner

Tag der Promotion: 21. Dezember 1932

Basel, den 2. November 1933

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

gez. E. Ludwig
z. Zt. Dekan

Erschienen in Graefes Archiv für Ophthalmologie,
Band 130, S. 441, 1933

Es kann heute als gesichert gelten, daß die angeborene Rotgrünblindheit dem recessiv geschlechtsgebundenen Erbgang folgt. Auch die Vererbung der einzelnen Typen der Farbensinnstörungen ist durch die Arbeiten von *Waaler*, *Franceschetti* und *Brunner* geklärt worden. Dagegen ist die Frage über das phänotypische Verhalten der Konduktorinnen noch durchaus ungelöst. Die vorliegende Arbeit befaßt sich deshalb in der Hauptsache mit den Resultaten, wie sie sich bei der Farbensinnprüfung von heterozygoten (farbentüchtigen) Frauen ergaben.

Frühere Angaben: Als erster hat *Fleischer* darauf hingewiesen, daß die Mütter farbenblinder Söhne nicht selten eine leichte Farbenschwäche zeigen. Allerdings hat schon vorher *Nettleship* vereinzelt leichte Farbenschwäche bei Konduktorinnen gefunden, wobei es sich allerdings in Anbetracht der damaligen Methoden nicht sicher sagen läßt, ob es sich nicht um anomale Trichromaten gehandelt habe. Im Gegensatz zu *Fleischer* konnte *Wölfflin* bei 12 Konduktorinnen keinerlei Abweichungen von der Norm feststellen.

Auch *Waaler* fand bei seinen Untersuchungen eine Reihe von Schulmädchen, die bei dem Ishihara-Test sich unsicher zeigten, und zwar ähnlich wie Deuteranomale. Die meisten von diesen nahmen allerdings die Rayleigh-Gleichung des Normalen an, wiesen aber nicht selten eine etwas gegen das Grün verschobene Einstellung auf, indem sie das Rotgrüngemisch, welches den Normalen gelb erscheint, als rötlich bezeichneten. Diese Verschiebung war aber wesentlich geringer, als es bei den Deuteranomalen der Fall zu sein pflegt. Die Einstellung der Gleichung war zudem häufig schwankend und variabel. *Waaler* nahm anfänglich an, daß es sich um Compounds handle; weil die Väter jedoch in der Regel normalen Farbensinn hatten, zog er den Schluß, daß die Frauen heterozygot seien. Da *Köllner* am Anomaloskop eine Abweichung von 10% als nicht selten auch bei Männern vorkommend angibt, so sieht *Waaler* die von ihm gefundenen Abweichungen bei Frauen als eine tatsächlich bestehende Farbensinnstörung an. Auch *Franceschetti* und *Brunner* sowie *von Planta* haben bei Konduktorinnen geringe Abweichungen des Farbensinnes von der Norm gefunden.

Daß bei heterozygoten Frauen derartige Abweichungen vorkommen können, ließe sich schon aus der Tatsache vermuten, nach der wir heute Fälle kennen,

in denen es sich um ausgesprochene Farbensinnstörungen bei sicher heterozygoten Frauen handelt. So hat *Siemens* eine farbenblinde Frau gefunden, deren Sohn vollkommen farbentüchtig war. Einen analogen Fall hat auch *Kawakami* beschrieben. In dem von *Siemens* scheint es sich um Deuteranomalie gehandelt zu haben, während *Kawakami* keine Angaben über die Art der Farbensinnstörung macht.

Als heterozygot manifest müssen auch diejenigen farbenblinden Frauen angesehen werden, deren Vater normal ist. Während früher solche Fälle mit dem „pater semper incertus" erklärt wurden, liegen heute doch schon mehrere derartige Mitteilungen vor (*Nettleship*, *Schiötz* Stammbaum IX. 1922, *Kawakami* 1922, *Waaler* 1927, *Brunner* 1928), so daß an dem Vorkommen manifest befallener heterozygoter Frauen nicht mehr gezweifelt werden kann.

Bemerkenswert ist, daß es sich in allen diesen Fällen von manifester Heterozygotie, soweit der Typus bestimmt wurde, bzw. aus den Angaben hervorgeht, um Deuteranomalie handelte.

Da bis heute noch keine eingehenden Untersuchungen über den Farbensinn bei Konduktorinnen vorliegen, so habe ich auf Anregung von Herrn Privatdozent Dr. *Franceschetti* bei 71 Konduktorinnen Untersuchungen in dieser Richtung angestellt. Da die Mütter farbenuntüchtiger Söhne Konduktorinnen sein müssen, war der gegebene Weg, um derartige Fälle zur Untersuchung zu erhalten, Knaben auf angeborene Farbensinnstörungen zu prüfen. Die Mütter der als farbenuntüchtig befundenen Schüler wurden dann für die Untersuchung herangezogen.

Durch das Entgegenkommen des Erziehungsdepartementes des Kantons Basel-Stadt, insbesondere von Herrn Schularzt Dr. *Wild*, sowie der Rektoren und Lehrer der in Betracht kommenden Schulen konnte ich insgesamt 1036 Schüler auf ihren Farbensinn prüfen. Es sei mir gestattet, allen Behörden für ihr Entgegenkommen an dieser Stelle auf das beste zu danken.

1. Zur Häufigkeit der Farbensinnstörungen.

Über die Gesamtzahl der Untersuchten und die Häufigkeit der einzelnen Farbensinnstörungen gibt die nachfolgende Tab. 1 in Ergänzung der Untersuchungen von *von Planta* Aufschluß.

Unter 1036 Schülern fanden sich $85 = 8{,}2 \pm 0{,}85\%$ Farbenuntüchtige, was mit der von *v. Planta* in Basel ermittelten Zahl ($7{,}95 \pm 0{,}60\%$) wie auch mit dem von *Waaler* festgestellten Werte ($8{,}01 \pm 0{,}29\%$) in vollem Einklang steht. Die Übereinstimmung ist noch besser, wenn man das Material von *v. Planta* und mein eigenes, die sich beide auf Basler Schüler beziehen, zusammenzieht. Man erhält dann $8{,}03 \pm 0{,}49\%$. Es erübrigt sich daher eine variationsstatistische Behandlung der Differenz.

Wie aus der Tab. 1 weiterhin hervorgeht, sind meine Zahlen für die Dichromaten etwas kleiner als die von *v. Planta*, dagegen diejenigen von Anomalen, insbesondere von Extremanomalen etwas größer. Der größte Unterschied

Tabelle 1. Prozentuale Häufigkeit farbenuntüchtiger Knaben an den Basler Schulen.

	Wieland		*v. Planta*		Beide zusammen	
samtzahl der Untersuchten. . . .	1036	%	2000	%	3036	%
samtzahl der Nachuntersuchten. .	111	$10{,}71_4$	185	9,25	296	9,74
rotanope P	10	$0{,}965_2$	32	1,60	42	$1{,}38_3$
xtrem Protanomale EPA . .	3	$0{,}289_5$	3	0,15	6	$0{,}19_7$
rotanomale PA	9	$0{,}868_7$	9	0,45	18	$0{,}59_2$
mme der P-Gruppe	22	2,122	44	2,20	66	—
euteranope D	10	$0{,}965_2$	30	1,50	40	$1{,}31_7$
xtrem Deuteranomale EDA .	9	$0{,}868_7$	7	0,35	16	$0{,}52_7$
euteranomale DA	44	$4{,}247_1$	78	3,90	122	$4{,}01_8$
mme der D-Gruppe. . . .	63	6,080	115	5,75	178	—
otal der angeboren Farben-sinngestörten	85	$8{,}204_4$	159	7,95	244	$8{,}03_4$
ittlerer Fehler M	—	$\pm 0{,}85$	—	$\pm 0{,}60$	—	$\pm 0{,}49$
rworben	1	—	—	—	—	—
nklar.	1	—	—	—	—	—
Normale"	24	—	26	—	—	—

zeigt sich bei den EDA[1]. Berechnet man aber aus den beiden Mittelwerten das m-diff.[2] = 0,3172 und daraus die Konstante $k = \frac{M_1 - M_2}{m\text{-diff.}} \left(\begin{matrix} M_1 = \pm 0{,}29 \\ M_2 = \pm 0{,}13 \end{matrix}\right)$, so erhält man 1,6. Da nach *Pütter* nur, wenn $k > 2$ ist, der Verdacht einer prinzipiellen Verschiedenheit vorliegt, so spricht das Ergebnis also nicht in diesem Sinne[3].

Die etwas größere Zahl Extremanomaler hängt vielleicht damit zusammen, daß, wie schon *Koellner* betonte, fließende Übergänge innerhalb der einzelnen Gruppen vorkommen. Eine genaue Trennung der Untergruppen ist daher nicht immer leicht durchzuführen, wenn die Untersuchung sich, wie es im vorliegenden Fall allein durchführbar war, auf die Rayleigh-Gleichung beschränkt.

[1] D = Deuteranop, DA = Deuteranomal, EDA = Extrem Deuteranomal. P = Protanop, PA = Protanomal, EPA = Extrem Protanomal.

[2] Über die praktische Anwendung der Berechnung mittels m-diff. siehe die Arbeit von *H. K. Müller* und *Pflimlin*.

[3] Der Faktor k stellt ein variationsstatistisches Maß dar, um den Unterschied von Mittelwerten aus 2 verschiedenen Versuchsreihen beurteilen zu können. Er wird durch den Quotienten der Differenz der beiden Mittelwerte $(M_1 - M_2)$ und der Quadratwurzel der Summe der Quadrate der mittleren Fehler $\left(\sqrt{m_1^2 + m_2^2}\right)$ dieser beiden Mittelwerte gebildet. Der Faktor k hat also die Formel $\frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}$

Ist der Wert für k größer als 3, so kann man (die binominale Streuung der einzelnen Untersuchungsbefunde vorausgesetzt) mit Sicherheit einen Unterschied von M_1 und M_2 annehmen. Wenn k einen Wert hat, der unterhalb von 2 liegt, so besteht entweder kein variationsstatistischer Unterschied der beiden Mittelwerte oder es ist die Zahl der Versuche zu klein gewesen. Sowie k größer als 2 gefunden wird, besteht immerhin der Verdacht auf eine charakteristische Differenz der Mittelwerte der beiden Versuchsreihen.

Da sich dagegen in Bestätigung der Befunde von *Franceschetti* keinerlei Übergänge zwischen der P- und D-Hauptgruppe fanden, so stimmen erwartungsgemäß, wie aus der Tabelle hervorgeht, die Gruppensummen aus den erhaltenen Prozentzahlen gut mit denen von *v. Planta* überein.

Seit der Arbeit von *v. Planta* sind noch zwei neuere statistische Untersuchungen erschienen, wobei sich die Autoren aber nur der pseudoisochromatischen Tafeln bedienten. *Miles* fand unter 1286 englischen Studenten mit dem Ishihara-Test 8,2% Farbenuntüchtige, *Silin* mit den Stillingschen Tafeln unter 818 Militärschülern 9,6% Farbenuntüchtige. Trotzdem das Anomaloskop nicht herangezogen wurde, ist eine leidliche Übereinstimmung der Prozentzahlen gegeben. Daß sie bei *Silin* höher waren (insbesondere bei 482 Fliegeranwärtern mit 12,5% Farbenuntüchtigen), mag damit zusammenhängen, daß einerseits ein sehr strenger Maßstab angelegt wurde, andererseits aber bei den Erwachsenen vielleicht erworbene Farbensinnstörungen mitgezählt wurden.

Erwähnt sei hier noch eine ältere Arbeit von *Guttmann*, der mit den Stillingschen und Nagelschen Tafeln sowie unter Kontrolle der verdächtigen Fälle mit dem *Helmholtz*schen Farbenmischapparat unter 1205 Soldaten 9,1% Farbenuntüchtige feststellte. Unter 1329 Schulkindern fand er allerdings nur 3,6% und unter 570 jüdischen Schulkindern 3,5%. Die letzte Zahl der Untersuchten ist allerdings etwas klein, um daraus bindende Schlüsse zu ziehen. Da unter den 1329 Schulkindern nur 1,28% anomale Trichromaten angegeben werden, liegt es nahe, anzunehmen, daß ein Teil davon bei der Untersuchung durchgeschlüpft ist.

Wie aus der Tab. 1 hervorgeht, fand ich mit dem Ishihara-Test 111 = 10,174% auf Farbenblindheit verdächtige Knaben; von diesen erwiesen sich am Anomaloskop 24 als zweifelsohne normal. Diese relativ große Zahl (*v. Planta* fand unter insgesamt 2000 Untersuchten nachträglich 26 Normale unter den Verdächtigen) scheint in der Hauptsache damit zusammenzuhängen, daß die von mir untersuchten Schüler im Alter von 9—12 Jahren aus psychischen Ursachen (Angst, zum Teil auch Debilität) Fehler beim Lesen des Ishihara-Test machten. Fast durchweg konnten aber dann diejenigen nachträglich bei der Kontrolle in der Klinik, welche sich am Anomaloskop als normal erwiesen, den Ishihara-Test, insbesondere nach psychischer Beruhigung, glatt entziffern.

Erwähnenswert sind aber zwei Ausnahmen. — In einem Fall zeigte sich am Anomaloskop (Auerlicht) eine wesentliche Verbreiterung der Rayleigh-Gleichung insbesondere gegen Rot zu, und zwar in typischer Weise am rechten und linken Auge verschieden, nämlich rechts von 63 = 17,5 bis 65,5 = 17, links von 60 = 19 bis 67 = 17.[1] Die Sehschärfe betrug rechts $^6/_9$; + 0,5 comb. Zyl. — 0,25 Axe 0° $^6/_6$, links $^6/_{12}$; + 0,75 $^6/_9$. Beim Spiegeln im rotfreien Licht zeigte sich eine deutliche Veränderung der Macula (Marmorierung, verzogener Reflex, Gelb sehr schwach). Es lag deshalb zweifellos eine erworbene Farbensinnstörung vor.

Der zweite Fall, der eine ähnliche Einstellung am Anomaloskop aufwies, von 60 = 19 bis 66 = 16[2] hatte vollkommen normalen Visus (beiderseits $^6/_5$), auch im rotfreien Lichte zeigten sich keine Veränderungen der Macula. — Wenn auch eine erworbene Farbensinnstörung trotzdem nicht völlig auszuschließen ist, so liegt es doch nahe, zu vermuten, daß es sich hier um einen jener Fälle handelt, die man im Sinne von *Koellner* entsprechend der verbreiterten, aber an normaler Stelle gelegenen Rayleigh-Gleichung als farbenschwach bezeichnen könnte.

[1] Für Auerlicht; Einstellung des Normalen: 61 ± 2 = 18 (die Grenzen beziehen sich auf die Mittelwerte der Normalen. Die Einstellungsbreite des einzelnen Individuums für das Mischlicht fanden wir in Übereinstimmung mit *Franceschetti* zu ± 1,5).

[2] Zur Kontrolle wurde noch eingestellt: Grünblau + Indigo = Cyan, was aber keine Abweichung von der Norm ergab.

Auf solche Fälle mit einer Gleichung „à cheval" hat speziell *Verrey* hingewiesen. Es sei aber betont, daß *v. Planta* keinen und auch ich nur einen einzigen derartigen Fall gefunden haben. Da *Koellner*, *Rosmanit*, *Verrey* und zahlreiche andere relativ häufig solche Farbenschwache festgestellt haben (*Koellner* sogar in etwa 10%), so liegt die Vermutung nahe, daß es sich in einem nicht kleinen Teil dieser Fälle um erworbene Farbensinnstörungen leichtesten Grades gehandelt haben mag, um so mehr als die genannten Autoren durchweg erwachsene Personen untersuchten, während es sich bei *v. Planta* und mir um Schulkinder handelte, wo erwartungsgemäß erworbene Farbensinnstörungen seltener sind. Wie leicht solche Fälle als angeborene Farbensinnstörung gedeutet werden können, zeigt der oben angeführte, bei dem im gewöhnlichen Licht keinerlei Veränderungen der Macula nachzuweisen waren, während im rotfreien Lichte deutliche Abweichungen von der Norm sich konstatieren ließen.

Um die Frage zu entscheiden, ob es sich im zweiten Falle wirklich um eine angeborene und damit wahrscheinlich auch erbliche Farbensinnstörung handelte, haben wir die Familie genauer untersucht. Der Großvater mütterlicherseits und zwei Brüder wie auch eine Schwester der Mutter erwiesen sich als durchaus normal. Auffallenderweise zeigte aber die Mutter eine verbreiterte Rayleigh-Gleichung gegen Grün zu (59 = 19 bis 55 = 22, Grün erst bei 45). Da, wie im folgenden noch näher ausgeführt wird, Konduktorinnen nicht selten eine solche Verbreiterung der Rayleigh-Gleichung gegen Grün zu aufweisen, besteht natürlich der Verdacht, daß es sich um eine Überträgerin handelt und zwar wahrscheinlich für DA. Aus dem einen Falle aber den Schluß zu ziehen, daß es auch DA gibt, die lediglich eine verbreiterte Einstellung der normalen Rayleigh-Gleichung aufweisen, scheint noch nicht berechtigt. In Betracht zu ziehen ist auch die Möglichkeit einer zentralen Störung, über deren Natur sich allerdings nichts aussagen läßt.

Bemerkungen zur Diagnostik.

Hinsichtlich der Diagnose der einzelnen Farbensinnstörungen ist in Ergänzung der *v. Planta*schen Angaben hervorzuheben, daß in der Regel schon auf Grund des Ishihara-Test vermutet werden kann, welche Art der Farbensinnstörung vorliegt, zum mindesten aber mit großer Wahrscheinlichkeit auszusagen ist, welcher Hauptgruppe sie angehört. Die Differentialdiagnose gelingt hauptsächlich auf Grund des Lesens von Tafel 12 und 13.

Tabelle 2.

Gruppen	Zahl	Tafel XII[1]			Tafel XIII[1]		
		Nur 2 gelesen	Nur 6 gelesen	Beide gelesen	Nur 4 gelesen	Nur 2 gelesen	Beide gelesen
P . . .	10	1	9	0	0	10	0
EPA . .	3	0	3	0	0	3	0
PA. . .	9	3	3	3	1	5	3
D . . .	10	10	0	0	10	0	0
EDA . .	9	8	0	1	8	0	1
DA. . .	44	35	1	6	34	1	7
	85						

[1] Die Bezifferung der Tafeln ist im Test selbst nicht vorgenommen; es ist hier die Nummer nach der Reihenfolge angegeben, in der die ja nur lose eingesteckten Tafeln geliefert werden.

Wie aus der Tab. 2 hervorgeht, gelingt die Differentialdiagnose bei den Dichromaten fast durchweg, indem die Protanopen auf den beiden Tafeln eigentlich nur 6 bzw. 2 lesen, die Deuteronopen 2 bzw. 4.

Auch bei den Extremanomalen ist die Trennung in Hauptgruppen fast immer möglich.

Wesentlich schwieriger gestaltet sich die Differentialdiagnose bei den gewöhnlichen Anomalen. Wie aus der Tabelle hervorgeht, ist die Tafel XIII für die Differentialdiagnose geeigneter als die Tafel XII. In den Fällen, wo die Anomalen beide Tafeln richtig lesen, ist eine Unterscheidung kaum möglich; allerdings sieht man nicht selten, daß der DA beim Lesen der Zahlen 6 (XII) und 2 (XIII) mehr Mühe hat, während umgekehrt der PA die Zahlen 6 bzw. 2 rascher entziffert.

Eine sichere Differentialdiagnose ist aber immer nur mit dem Anomaloskop möglich.

Untersuchung der Mütter der farbenuntüchtigen Söhne.

a) Farbensinngestörte Frauen.

Wie *Brunner* berechnet hat, ist das Verhältnis farbenuntüchtiger Mütter zu Konduktorinnen bei den Müttern farbenblinder Söhne 1:17,12. Ich konnte im ganzen 71 Mütter farbenuntüchtiger Söhne untersuchen. Erwartungsgemäß kämen also auf diese 71 Frauen etwa 4 farbenuntüchtige Frauen; tatsächlich habe ich 3 solche gefunden.

Die eine ist identisch mit der von *Brunner* im Stammbaum Nr. 18 angegebenen DA-Mutter eines D- und eines DA-Sohnes. Es braucht deshalb hier nicht weiter auf diesen Fall eingegangen zu werden. Die zweite Mutter, Fam. Mül., war DA, ebenso ihr Sohn; weitere farbenblinde Familienmitglieder wurden nicht gefunden.

Im 3. Falle, Fam. Gra., war die Mutter D, der Sohn dagegen EDA. Da die Mutter genotypisch D + D sein muß, so ist man gezwungen, im Sinne von *Brunner* eine quantitative Mutation der beiden D-Gene der Mutter anzunehmen. Allerdings ist noch eine andere Erklärungsmöglichkeit in Betracht zu ziehen. *Brunner* hat nämlich bereits ein Frau gefunden, die nach der Analyse EDA-D sein mußte, klinisch war sie aber entgegen der Erwartung D, während sonst immer die schwächere Störung dominant zu sein pflegt. Es besteht also die Möglichkeit, daß auch die von mir gefundene Mutter D-EDA war. Auffällig war es in meinem Falle, daß der Sohn eine sehr große Einstellungsbreite am Anomaloskop hatte und bei Ermüdung sogar die Endgleichungen Rot-Gelb und Grün-Gelb annahm. Da es sich hier um einen Übergang von EDA zu D zu handeln scheint, so ist es durchaus begreiflich, daß bei der Mutter die beiden Gene zusammen eine Störung ergeben, die klinisch als D gedeutet werden muß. Zur genaueren genotypischen Analyse wäre es deshalb wünschenswert, eine noch exaktere Abgrenzung der einzelnen Typen zu gewinnen, da geringe quantitative Unterschiede am Anomaloskop nicht mit absoluter Sicherheit zu bestimmen sind. Hierzu bedürfte es der Eichung des ganzen Farbensystems an einem großen Spektralapparat, der aber nicht zur Verfügung stand.

Von den Konduktorinnen müssen im besonderen noch solche erwähnt werden, die Söhne mit verschiedenartiger Farbensinnstörung aufwiesen. Im ganzen kamen zwei solche zur Beobachtung. In beiden Fällen (Fam. Ot. und Bur.) war ein DA- und EDA-Sohn vorhanden. Da die Mütter klinisch normal waren, daher nur ein Gen für Farbensinnstörung besitzen können, so muß man zur Erklärung wiederum annehmen, daß es sich hier entweder um quantitative oder um Manifestationsschwankungen handelt.

b) Compounds.

Von Interesse ist hier die Familie Vau. Es handelt sich um einen EPA-Sohn und eine DA-Tochter, der Vater ist DA. Nach der Analyse muß deshalb die Mutter DA + EPA-Compound oder EPA-D-Compound sein. Der Fall ist deshalb wichtig, weil er wiederum die *Waaler*sche Annahme bestätigt, daß Frauen, die Nicht-Allelomorph-Compound sind[1], klinisch keine Farbensinnstörung aufweisen. Auch im vorliegenden Falle war die Mutter am Anomaloskop vollkommen normal. Ein analoger Fall wurde bisher weder von *Waaler* noch von *Brunner* gefunden.

c) Konduktorinnen.

Wie eingangs erwähnt, ist von einigen Forschern die Vermutung ausgesprochen worden, daß Konduktorinnen möglicherweise einen nicht vollkommen normalen Farbensinn besitzen. Diese Autoren stützen sich hierbei in der Hauptsache auf die bei einigen Konduktorinnen gefundene Verbreiterung oder leichte Verlagerung der Rayleigh-Gleichung (*Fleischer*) oder auf das unsichere Lesen der Ishihara-Tafeln (*v. Planta, Franceschetti*). Genauere Angaben fehlen aber bis heute. Zur Lösung dieser Frage schien deshalb eine exakte quantitative Untersuchung des Farbensinnes der Konduktorinnen geboten. Hierzu ist aber die Prüfung allein am Anomaloskop nicht ausreichend, sondern es bedarf dazu mindestens noch der Bestimmung der spezifischen Schwellen. Dieses ist zwar schon wiederholt gefordert worden, doch fehlte es bisher an einer exakten und dabei für praktische Zwecke brauchbaren Methode.

2. Die Bestimmung der spezifischen Schwellen.

Bei den spezifischen Schwellen handelt es sich im Prinzip darum, den geringsten Reizwert festzustellen, bei welchem ein farbiges Objekt die ihm eigentümliche Farbenempfindung hervorruft.

Die generelle Schwierigkeit der Schwellenbestimmung liegt, wie *Donders, Köllner, Engelking* und viele andere immer wieder betont haben, darin, daß es sich nicht um eine objektive Messung handelt, sondern daß sie eine Urteilsabgabe über Farbenqualitäten verlangt, die an der Grenze der Wahrnehmbarkeit bzw. des erkennbaren Unterschiedes liegen. Bei ungeübten Versuchspersonen müssen sich hier notwendigerweise erhebliche Fehler einschleichen. *Köllner* gibt allerdings an, daß auf Grund zahlreicher Untersuchungen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ein Rückschluß auf den Grad der Herabsetzung der Farbenempfindung gezogen werden könne. Sicherere Urteile sind mit Hilfe der bekannten Fehlermethoden möglich.

Die Prüfung der spezifischen Farbenschwelle kann auf verschiedene Arten geschehen. In der Hauptsache lassen sich die folgenden vier unterscheiden (s. auch *Brückner*):

[1] Nach *Franceschetti* werden so diejenigen Frauen genannt, die zwei Gene für 2 nicht der gleichen Hauptgruppe angehörenden Farbensinnstörungen besitzen.

Die *Messung mittels der geringsten Lichtintensität* wurde von *Rählmann* mit spektralen Farben, von *Donders* mit durchleuchtbaren farbigen Scheiben (in ähnlicher Weise von *Candian*) vorgenommen. Auch kann man sich nach dem Vorgange von *Landolt* des Farbenkreisels, bei dem farbige Sektoren verschiedener Breite vor lichtlosem Grunde rotieren, bedienen.

Bei der *Messung mittels des kleinsten Netzhautbildes* wird der minimale Gesichtswinkel bestimmt, unter dem das Objekt noch farbig erkannt wird (insbesondere haben *Donders*, *Bull*, *Fick*, *Dobrowolsky*, *Holmgreen*, *de Wecker* und *Sauvineau* sich dieser Methode bedient).

Die kürzeste Expositionszeit (*die sogenannte Farbenzeitschwelle*) haben nach dem Vorgang von *Guttmann* vor allem *Brückner* und *Kirsch* sowie *van der Horst* geprüft.

Die spezifische Schwelle mittels *der geringsten objektiven Sättigung* hat den Vorteil, daß sie bei gleichbleibendem Gesichtswinkel und Adaptationszustand zu untersuchen erlaubt. Sie ist mittels des rotierenden Farbenkreisels von *Ole Bull* und *von Hess* angewandt worden. Auch die Tafeln von *Ole Bull* und *Kolbe* sowie die Methode von *Young* gehören hierher. *von Hess* fand für den nach ihm so genannten Rotsichtigen (wahrscheinlich Deuteranomalen) die Schwelle für Rot erniedrigt und das Verhältnis Grün zu Rot, bei dem eine Gleichung mit Grau entstand, bei dieser Form der Farbenuntüchtigkeit von wesentlich größerer Schwankungsbreite als beim Normalen. Umgekehrt wurde von zwei Protanomalen ein wesentlich größerer Rotanteil gefordert.

Ausgedehnte Untersuchungen mit der *v. Hess*schen Kreiselmethode hat *Engelking* angestellt und seine Resultate mit den Einstellungen am Anomaloskop verglichen. Hier interessieren vor allem die Fälle, die eine normale Rayleigh-Gleichung einstellten, aber am Kreisel Abweichungen von der normalen Graugleichung aufwiesen. In der Hauptsache ergab sich, daß diejenigen Personen, die am Kreisel relativ viel Rot zur Graugleichung erforderten, dies auch hinsichtlich der Rayleigh-Gleichung taten. Dieselbe Übereinstimmung herrschte auch bei den Fällen mit großem Grünzusatz. Zudem erschien in beiden Gruppen das Gebiet der Einstellungsbreite sowohl beim Kreiselversuch als auch am Anomaloskop ein wenig in der betreffenden Richtung verschoben. In der Regel war aber auch bei verschobenem Einstellungsgebiet die Einstellungsbreite gegenüber der Norm nicht wesentlich vergrößert.

Insgesamt aber läßt sich aus den im Kreiselversuch bestimmten spezifischen Schwellen nicht ohne weiteres ein Rückschluß auf die Unterschiedsempfindlichkeit gegenüber Lichtern verschiedener Wellenlänge ziehen. Insbesondere besteht bei den Anomalen keine Übereinstimmung zwischen Einstellungsbreite am Anomaloskop und am Kreisel.

Vierling hat ebenfalls Schwellenbestimmungen bei 46 Rot- und 164 Grünanomalen an einem modifizierten Anomaloskop angestellt, die aber keine einheitlichen Resultate ergaben.

Bestimmung der Überwertigkeit. Während *Guttmann*, *Raehlmann*, *Koellner* u. a. immer wieder betont haben, daß bei den DA und PA sämtliche Schwellen erhöht seien, ist *von Hess* für eine Blau- bzw. Gelbüberwertigkeit auf Grund der Prüfung der Gesichtsfeldaußengrenzen eingetreten. Auch *Wölfflin* hat die Frage aufgeworfen, ob es gewisse Farbensysteme gebe, bei denen die Schwellen unter der Norm gelegen sind. Er hat zu diesem Zweck sich einer neuen colorimetrischen Methode bedient, auf die nur hingewiesen sei, ebenso wie auf die Untersuchungen des gleichen Autors mit Umschlagsfarben, die bei künstlichem Licht ein anderes Aussehen annehmen als bei Tageslicht.

Eigene Untersuchungen.

Um eine möglichst große Zahl von Fällen zu untersuchen, mußte eine Methode benutzt werden, die auf möglichst einfache Weise erlaubt, quantitative Resultate zu gewinnen. Die meisten der bisher angegebenen Verfahren sind für Massenuntersuchungen wenig geeignet oder zu unexakt, weil sie nicht genügend Abstufungen gestatten. Überdies sind Vergleiche mit den Resultaten anderer Untersucher dabei häufig nicht möglich. Das Bestreben ging deshalb dahin, ein Verfahren zu verwenden, das späteren Forschern Anstellungen vergleichbarer Messungen erlaubt.

Als besonders geeignet schien bei diesem Versuch das *Pulfrich*sche Stufenphotometer von Zeiss (*Stupho* genannt) zu sein, das bei konstanter Beleuchtung und gleicher Objektgröße erlaubt, Pigmentfarben gleichmäßig zu mischen.

Die Beschreibung des Apparates ist aus der Anweisung der herstellenden Firma zu ersehen (s. auch *Pulfrich*). Zu den Schwellenmessungen wurde noch der Zusatzapparat von *Krüger* verwendet, mit dessen Hilfe man vor der einen Öffnung des Stupho eine Platte durch Schraubentrieb hin und her bewegen kann.

Die Untersuchung wurde in einem Zimmer vorgenommen, dessen Wände hellgrau gestrichen waren. Um gleichmäßige Beleuchtungsverhältnisse zu haben, wurden die Fensterläden geschlossen, aber eine helle Mittelbeleuchtung (nicht mattierte Osramlampe, 150 Watt) eingeschaltet. An diese Beleuchtung wurde die Versuchsperson zunächst 5 Minuten adaptiert. Die Versuchsanordnung gestaltete sich dann wie folgt:

Als konstante und von der wechselnden Tagesbeleuchtung unabhängige Lichtquelle wurde eine Lampe von 120 Watt benutzt, die sich in einem mit Mattschwarz ausgeschlagenen Kasten befand. Vor einem entsprechend großen Ausschnitt stand das Stupho, so daß es nur von der genannten Lampe Licht erhalten konnte. Lampenkasten und Stupho behielten während der ganzen Dauer der Versuche ihre Stellung zueinander bei, ohne verschoben zu werden. Dadurch war gewährleistet, daß abgesehen von etwa eintretenden Stromschwankungen im Stadtnetz stets die gleichen Lichtverhältnisse herrschten. Vor die linke Vergleichsöffnung wurde auf die verschiebbare Platte des Krügerschen Zusatzapparates ein Grautäfelchen und direkt daran anstoßend ohne Zwischenraum ein grünes bzw. rotes Farbtäfelchen gelegt. Mit Hilfe der Schraube (deren Kopf im Originalapparat wesentlich zu klein ist, um bequem gedreht werden zu können) konnten nun diese beiden Täfelchen beliebig unter der linken Öffnung des Stupho verschoben werden, so daß z. B. einmal nur das graue und das andere Mal das graue und auch ein gewisser Anteil des grünen bzw. roten Täfelchens das Gesichtsfeld des Stupho ausfüllten. Es bestand also in dieser Vorrichtung die Möglichkeit, die rechte Gesichtshälfte des Stupho sowohl rein grau als auch grau mit abstufbarer grüner bzw. roter Farbbeimischung erscheinen zu lassen. Vor die andere Öffnung des Stupho kam ein graues Täfelchen von der gleichen Helligkeit wie das in der linken Öffnung. Es behielt seine Lage stets bei und diente lediglich dazu, die linke Gesichtsfeldhälfte des Stupho-Okulares immer gleichmäßig grau erscheinen zu lassen.

Die Farbenschwelle, gemessen durch die geringste objektive Sättigung, wurde nun so bestimmt, daß die Versuchsperson zunächst die beiden gleichmäßig grauen Gesichtsfeldhälften zu betrachten hatte und ihr Urteil abgeben mußte, ob sie

ihr auch tatsächlich gleich hell erschienen. Durch Drehen an der Schraube des Krügerschen Zusatzapparates wurde nun zu dem Grau der einen Gesichtsfeldhälfte langsam etwas Grün bzw. Rot beigemischt und die Versuchsperson aufgefordert, beim ersten Erscheinen des Farbtones in dem rechten Gesichtsfelde dies sofort anzugeben. Es wurden zur Bestimmung einer Farbenschwelle jeweils 5 Ablesungen gemacht und aus diesen der Mittelwert gezogen.

Als Grautäfelchen wurde das *Ostwald*sche Grau *g* verwendet, wenn als Farbton das Rot 25 n des Ostwaldschen Atlas zur Verwendung gelangte. In den Versuchen zur Bestimmung der Grünschwelle wurde das Grün 83/1a und das Grau h benutzt. Diese beiden Grautöne hatten ungefähr die gleiche Helligkeit wie die verwendeten Farben Rot bzw. Grün. In Vorversuchen hatte sich gezeigt, daß dies für die Erkennung der Farbenschwelle besonders günstig ist. Wesentlich unsicherere Resultate wurden nämlich erhalten, wenn man nicht Grau, sondern Weiß als Grundton benutzte.

Zur *quantitativen Bestimmung des jeweiligen Farbzusatzes* wurde die sogenannte Vorschlagslupe des Stufenphotometers benutzt. Mit ihr sieht man als scharfes Bild die Aubertsche Blende und die benutzten Täfelchen. Man kann damit erkennen, welcher Anteil des von der Aubertschen Blende umschriebenen Quadrates von dem farbigen und welches Gebiet von dem grauen Täfelchen ausgefüllt ist. In Abb. 1 ist dies veranschaulicht. Das große Quadrat A, B, C, D entspricht der maximal geöffneten Blende. Das Rechteck A, B, F, E bezeichnet das Gebiet des von dem farbigen Täfelchen ausgefüllten Gebietes und das Rechteck E, F, C, D das von dem grauen Täfelchen. Je größer der Anteil des farbigen Täfelchens gefunden wurde, desto höher war die Farbenschwelle des Untersuchten.

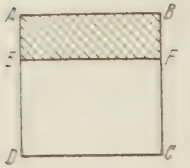

Abb. 1. Das Quadrat A, B, C, D entspricht der völlig geöffneten *Aubert*schen Blende. Das Rechteck A, B, F, E bezeichnet das von dem farbigen Täfelchen ausgefüllte Gebiet und das Rechteck E, F, C, D das von dem grauen Täfelchen.

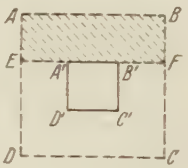

Abb. 2. Zur Bestimmung der Größe des Rechteckes A, B, F, E wird die *Aubert*sche Blende A, B, C, D solange verkleinert, bis ihre Kante A', B' mit der Trennungslinie der beiden Täfelchen E, F zusammenfällt.

Um zu einem zahlenmäßigen Ausdruck[1] dieser Farbenschwelle zu kommen, wurde der Inhalt des farbigen Rechteckes (A, B, F, E) in Prozenten des Inhaltes des Quadrates (A, B, C, D) ausgedrückt. Wenn also weiter unten davon gesprochen wird, daß die Farbenschwelle z. B. 15% beträgt, so heißt dies, daß in diesem Fall der durch die Aubertsche Blende gehende Lichtstrom zu 15% von dem farbigen und zu 85% von dem grauen Täfelchen ausgesendet wurde.

Bei der praktischen Ausmessung der Größe des farbigen Rechteckes wurde die Aubertsche Blende durch Drehung an der Trommel des Stufenphotometers solange verkleinert, bis sie gerade mit der Grenzlinie des farbigen und des grauen Täfelchens zur Deckung kam (siehe Abb. 2.) Die dieser Stellung der Aubertschen Blende entsprechende Trommelablesung gibt die Größe der so verkleinerten Blendenöffnung in Prozenten der Öffnung bei maximal erweiterter Blende an. Durch eine einfache rechnerische Ableitung kann aus dieser Zahl der Flächeninhalt des farbigen Rechteckes in Prozenten der maximal erweiterten Blendenöffnung ausgedrückt werden.

[1] Die folgende Ableitung verdanke ich Herrn Privatdozent Dr. *Hans Karl Müller*.

In Abb. 3 soll das Quadrat A, B, C, D der maximal geöffneten Blende entsprechen. Das Rechteck A, B, F, E sei der Anteil des farbigen und das Rechteck E, F, C, D der des grauen Täfelchens. Bedingungsgemäß wird die Blende solange verkleinert, bis $A\,B$ auf $C\,F$ zu liegen kommt. Die verkleinerte Blende hat dann die Öffnung A', B', C', D'. Bei dieser Blendenstellung kann an der Trommel abgelesen werden, daß der Inhalt dieses kleinen Quadrates A', B', C', D' c% des Quadratinhaltes von A, B, C, D beträgt.

Bezeichnet man die Seitenlänge des großen Quadrates mit a, die des kleinen Quadrates mit a', so beträgt der gesuchte Inhalt des farbigen Rechteckes A, B, F, E

$$\frac{a - a'}{2} \cdot a\,. \tag{1}$$

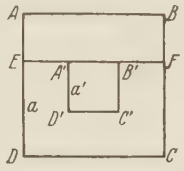

Abb. 3. Für die Berechnung wird $AE = {}^1/_2 (a - a')$ gesetzt, wobei $a = AD$ und $a' = A'D'$.

Da dieser Inhalt in Prozenten des Quadratinhaltes von A, B, C, D ausgedrückt werden soll, haben wir die Gleichung

$$\frac{a - a'}{2} \cdot a : a^2 = x : 100 \tag{2}$$

aufzulösen und können schreiben

$$x = \frac{(a - a') \cdot 50}{a} \tag{3}$$

In dieser Gleichung können wir aber für a und a' die Wurzel der zugehörigen Trommelablesung einsetzen, da sich die Seitenlängen der Quadrate ebenso verhalten wie die Wurzeln der Quadratflächen. Für a beträgt die Wurzel 10, da hier der Quadratinhalt als 100% bezeichnet wird. Für a' müssen wir $\sqrt{c}$ schreiben, da wir die zugehörige Trommelablesung mit c% bezeichnet haben. Man kann also die Gleichung (3) schreiben

$$x = 50 - 5\sqrt{c} \tag{4}$$

Mit dieser Formel habe ich die gesuchte Farbenschwelle (x) jeweils berechnet.

Ergebnisse.

Zuerst wurde an 30 normalen männlichen Personen die spezifische Schwelle für Rot und Grün bestimmt.

Die erhaltenen Resultate sind in der folgenden Tab. 3 wiedergegeben.

Tabelle 3. Spezifische Farbenschwelle für Rot und Grün bei 30 normalen Männern, ausgedrückt in Prozenten der Farbenbeimischung.

Rot			Grün			Rot			Grün		
6,1	3,6	5,3	19,5	13,6	11,9	6,6	9,1	8,2	17,2	19,2	9,7
4,5	5,3	5,3	17,6	21,3	11,6	7,4	2,3	5,0	21,3	20,0	9,4
4,5	6,4	4,7	24,0	20,0	12,3	6,1	5,6	8,7	15,4	25,0	13,3
4,5	6,4	5,6	23,5	28,2	10,6	7,6	8,5	4,0	20,4	26,0	6,7
6,4	9,1	5,0	16,8	28,2	9,7	6,1	5,0	5,0	11,9	16,5	11,3

Aus dieser Tabelle erhält man für die Rotschwelle einen Mittelwert von 5,93% $\pm$ 0,30 (die Streuung σ beträgt $\pm$ 1,64) und für die Grünschwelle einen solchen von 17,07% $\pm$ 1,07 (die Streuung σ beträgt $\pm$ 5,89). Wie aus diesen Zahlen hervorgeht, ist die Standardabweichung σ für die Rotschwelle relativ klein, während sie für die Grünschwelle auf-

fallend hoch ist. Es entspricht dies durchaus den bei den Untersuchungen gemachten Beobachtungen, daß bezüglich der Rotschwellen die Angaben der Versuchspersonen wesentlich bestimmter, bezüglich der Grünschwellen recht schwankend waren.

a) Untersuchungen bei farbenuntüchtigen Knaben.

A. Deuteranomale (DA).

Untersucht wurden 29 DA. Die folgende Tab. 4 gibt die Einstellungen der spezifischen Schwelle für Rot und Grün.

Tabelle 4. Spezifische Farbenschwelle für Rot und Grün bei 29 Deuteranomalen, ausgedrückt in Prozenten der Farbenbeimischung.

	Rot	Grün		Rot	Grün		Rot	Grün
1	8,7	16,6	11	11,15	45,3	21	9,1	55,1
2	8,5	9,7	12	6,55	35,9	22	33,4	40,0
3	68,0	60,6	13	11,6	18,4	23	7,3	41,4
4	11,6	58,4	14	18,4	42,1	24	20,4	41,4
5	7,6	24,0	15	7,9	28,8	25	6,4	15,4
6	7,3	30,6	16	14,6	30,0	26	9,7	21,7
7	7,3	41,4	17	25,5	25,5	27	15,4	32,7
8	5,8	22,2	18	11,3	41,7	28	50,0	41,4
9	8,7	42,15	19	14,3	25,45	29	14,3	27,6
10	20,0	30,0	20	5,6	38,8			

Aus der Tab. 4 erhält man für die Rotschwelle 15,39 $\pm$ 2,51% und für die Grünschwelle 33,94 $\pm$ 2,31%.

Vergleicht man die Mittelwerte für die Rot- und Grünschwellen von den DA mit denjenigen der Normalen, so sieht man, daß sie wesentlich höher sind.

Auch auf mathematischem Wege ergibt sich, daß ein tatsächlicher Unterschied vorliegt, da die Differenz der Mittelwerte für die Rotschwelle 9,46 bei einem mittleren Fehler der Differenz m-diff. = $\pm$ 2,68 beträgt. Die Differenz ist also wesentlich größer als $3 \times m$-diff. (s. hierzu u. a. *H. K. Müller* und *Pflimlin*). Der Wert von k beträgt 5,74 (s. S. 443).

In gleicher Weise ergibt sich auch, daß die Differenz der Mittelwerte der Grünschwellen wesentlich größer ist als der um das Dreifache vergrößerte mittlere Fehler (m-diff. = $\pm$ 2,55). Der Wert von k beträgt 6,61.

Damit hat sich also bestätigt, daß bei den DA sowohl die Grün- als auch die Rotschwelle gegenüber der Norm erhöht ist.

Für den Einzelfall kann mit Sicherheit eine erhöhte Schwelle nur dann angenommen werden, wenn die Schwelle größer ist als der Mittel-

wert für den Normalen $+ 3\,\sigma$ oder besser $3{,}5\,\sigma$. Aus den auf S. 451 mitgeteilten Angaben erhält man für Rot $M_n + 3{,}5\,\sigma = 11{,}67$.

Wie aus der Tab. 4 hervorgeht, haben von 29 Fällen 18 eine Rotschwelle unter 11,67. Daraus ergibt sich, daß an Hand der spezifischen Rotschwelle im Einzelfalle eine Farbensinnstörung nicht mit Sicherheit zu erkennen ist, wie dies schon *Engelking* betont hat.

Für die Grünschwelle beträgt $M_n + 3{,}5\,\sigma = 37{,}68$. Hier liegt also die obere Grenze der normalen Streuung bereits höher als der für die DA gefundene Mittelwert. Es hängt dies noch damit zusammen, daß die Angaben bezüglich der Grünschwelle auch bei den Normalen wesentlich unsicherer sind als für die Rotschwelle. Im Einzelfalle können also nur solche Grünschwellen als mit Sicherheit erhöht angesehen werden, die über 37,68 liegen. Unter den 29 untersuchten DA-Fällen haben 15 eine Schwelle, die unter dieser Zahl liegt.

Bei den DA läßt sich also auch bezüglich der Grünschwelle nur in etwa 50% der Fälle mit Sicherheit eine Erhöhung nachweisen. Von den 29 auf Rot- und Grünschwelle Untersuchten zeigen 10 für beide innerhalb der normalen Streuung gelegene Werte, so daß also im ganzen etwa $^2/_3$ aller Untersuchten DA entweder für die eine oder die andere bzw. beide Farben erhöhte Schwellen zeigen. Oft, aber nicht durchweg sind bei einer und derselben Person beide Schwellen hoch oder niedrig.

B. Extrem Deuteranomale (EDA).

Über die Rot- und Grünschwelle bei den EDA gibt die Tab. 5 Auskunft.

Die Mittelwerte sowohl der Rot- als der Grünschwelle sind ungefähr von der gleichen Größenordnung wie bei den DA. Wie aus der Tab. 5 hervorgeht, liegen auch hier für die Rotschwelle in zwei, für die Grünschwelle in drei Fällen die Werte innerhalb der normalen Streuung.

Tabelle 5. Spezifische Farbenschwelle für Rot bei 5 und für Grün bei 6 Extrem-Deuteranomalen, ausgedrückt in Prozenten der Farbenbeimischung.

	Rot	Grün
1	13,6	24,5
2	25,0	24,0
3	10,0	42,9
4	7,6	25,5
5	19,2	70,0
6	—	54,7
	$M = 15{,}08 \pm 2{,}8$	$M = 40{,}27 \pm 7{,}1$

Die Beurteilung der spezifischen Schwelle gestaltet sich überdies bei den EDA schon deshalb wesentlich schwieriger, als zwar eine Farbenschwelle besteht, nicht selten aber Rot als Orange und Grün als Gelb bezeichnet werden. Über das Verhältnis der beiden Schwellen bei ein und demselben Individuum läßt sich an der Hand der wenigen Fälle nichts Bestimmtes sagen.

C. Deuteranope (D).

Bei den D können die Schwellenwerte für Rot und Grün nicht bestimmt werden, weil hier diese Qualitäten fehlen.

D. Protanomale (PA).

Bei den PA liegt, wie die Tab. 6 zeigt, die Rotschwelle im Durchschnitt sehr hoch. Nur in einem von 5 Fällen wurde eine nicht erhöhte Schwelle gefunden. Auch die Grünschwelle liegt noch etwas höher als bei den DA. Immerhin bleibt sie in 3 Fällen innerhalb der physiologischen Streuung.

Tabelle 6. Spezifische Farbenschwelle für Rot bei 5 und für Grün bei 6 Protanomalen, ausgedrückt in Prozenten der Farbenbeimischung.

	Rot	Grün
1	21,7	17,6
2	58,6	38,8
3	6,1	30,6
4	35,9	44,9
5	59,4	31,3
6	—	71,2
	$M = 36{,}34 \pm 9{,}3$	$M = 39{,}07 \pm 6{,}8$

Im Gegensatz zu den DA kann also durch die Schwellenbestimmung bei den PA die Farbensinnstörung in der Regel erkannt werden, wenngleich zu bemerken ist, daß, wie auch *Engelking* betont hat, aus den Schwellenbestimmungen kein Rückschluß auf die Art der Farbensinnstörung gezogen werden kann; auch ist keine eindeutige Beziehung für beide Farben nach meinen Beobachtungen zu entnehmen.

E. Extrem-Protanomale (EPA).

Bei 2 EPA hat die Schwellenbestimmung folgendes ergeben: der eine EPA erkannte Rot auch bei 100% nicht, für Grün wurde 61,2% bestimmt. Der andere ergab für Rot 37,2% und erkannte Grün zu 100% nicht.

F. Protanope (P).

Was bei der Deuteranopie gesagt wurde, gilt auch für die Protanopie. Es kommen deshalb spezifische Schwellenbestimmungen hier nicht in Frage.

b) Untersuchungen bei Konduktorinnen.

A. Konduktorinnen für Deuteranomalie.

Untersucht wurden 34 Konduktorinnen. Die Schwellen für Rot und Grün sind in der folgenden Tab. 7 wiedergegeben.

Berechnet man den Mittelwert für die Rotschwelle, so erhält man 10,87% $\pm$ 1,89. Dieser Wert darf aber nicht ohne weiteres mit den Rotschwellen der Normalen verglichen werden, da, wie aus der Tab. 7

Tabelle 7.[1]

Fall Nr.	Schwellen		Anomaloskop			Fall Nr.	Schwellen		Anomaloskop		
	Rot	Grün	von	bis	Mittel		Rot	Grün	von	bis	Mittel
1	1,5	24,5	61	—	61	18	6,7	18,0	64	63	60,5
2	2,1	20,4	61	—	61	19	9,1	57,1	61	56	59
3	4,7	23,5	61	60	60,5	20	7,9	10,0	59	—	59
4	61,2	27,6	64	62	63	21	23,5	25,45	59	56	57,5
5	6,1	20,8	59	58	58,5	22	6,7	20,8	58	—	58
6	7,6	35,0	64	61	62,5	23	19,5	22,2	60	58	59
7	10,4	22,7	62	59	60,5	24	6,7	35,9	56	—	56
8	6,7	17,2	60	58	59	25	13,3	21,7	56	—	56
9	8,7	20,4	62	60	61	26	7,6	20,8	61	60	60,5
10	8,5	20,0	60	58	59	27	8,5	23,5	61	—	61
11	13,0	24,5	60	56	58	28	9,7	22,7	60	59	59,5
12	3,1	36,35	59	58	57,5	29	7,9	13,0	61	60	60,5
13	7,75	27,1	60	—	60	30	7,3	27,6	60	59	59,5
14	5,8	19,2	60	57	58,5	31	14,6	35,9	57,5	55,5	56,5
15	9,4	15,0	59	58	58,5	32	9,7	16,1	62	60	61
16	32,0	61,2	58,5	56,5	57	33	6,7	20,4	58	57	57,5
17	9,1	27,1	58	—	58,5	34	6,7	9,7	58	—	53

hervorgeht, in 7 Fällen die normale physiologische Streuung zum Teil sehr wesentlich überschritten wurde. Es ergibt sich also, daß in etwa $^1/_5$ der Fälle die Rotschwelle bei den Konduktorinnen für Deuteranomalie außerhalb der physiologischen Streuung liegt und daher als sicher abnorm hoch bezeichnet werden darf. Berechnet man für die übrigen 27 Fälle den Mittelwert, so erhält man $7{,}13 \pm 0{,}41$. Die Differenz gegen den normalen Mittelwert beträgt 1,20, m-diff. $\pm$ 0,508. Die Differenz ist also nur etwa $2^1/_2$mal so groß als die m-diff. Der Wert von k beträgt 2.36. Ein tatsächlicher Unterschied läßt sich also nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vermuten (s. oben S. 443). Oft oder keineswegs konstant sind bei dem gleichen Individuum beide Schwellen relativ hoch oder relativ niedrig.

Hinsichtlich der Grünschwelle zeigen von 34 Fällen nur 2 eine außerhalb der normalen Streuung liegende Zahl; für die übrigen 32 innerhalb $3{,}5\,\sigma$ vom normalen Mittelwert gelegenen Fälle ergibt sich ein Mittelwert von $22{,}66 \pm 1{,}18$ gegenüber $17{,}07 \pm 1{,}07$ beim Normalen. Die Differenz der Mittelwerte beträgt also 5,59, die dazu gehörende m-diff. $\pm$ 1,59. Der Wert von k beträgt 3,52. Hier scheint demnach ein wirklicher Unterschied in den Mittelwerten zu bestehen. Man kann also sagen, daß zwar durchschnittlich die Grünschwelle der Konduk-

[1] In Tab. 7—11 sind in der linken Hälfte die Zahlen für Rot und Grün nach den Bestimmungen am Stufenphotometer für jeden einzelnen Fall angegeben. Unter der Überschrift Anomaloskop finden sich die Einstellungsbreiten am Anomaloskop (Auerlicht) angegeben, im letzten Stab deren mittlere Werte.

torinnen für Deuteranomalie höher liegt als beim Normalen, daß aber nur in etwa 6% der Fälle eine über die Grenze der normalen Streuung hinausgehende Erhöhung der Schwelle gefunden wird.

B. Konduktorinnen für extreme Deuteranomalie.

Tabelle 8.

Fall Nr.	Schwellen		Anomaloskop		
	Rot	Grün	von	bis	Mittel
37	7,6	18,4	57	—	57
38	4,2	47,3	62	59	60,5
39	5,0	28,8	61	60	60,5
40	6,1	35,0	59	—	59
41	8,2	23,5	62	61	61,5
42	6,1	19,2	58	57	57,5
43	12,6	32,7	59	57	58
44	30,0	25,4	55	—	55

Von den 8 untersuchten Konduktorinnen für extreme Deuteranomalie zeigen 2 (s. Tab. 8) hinsichtlich der Rotschwelle und 1 hinsichtlich der Grünschwelle ein Resultat, das außerhalb der physiologischen Streuung liegt.

Berechnet man den Mittelwert für die übrigen Fälle, so erhält man für die Rotschwelle $6{,}2 \pm 0{,}563$ und für die Grünschwelle $26{,}14 \pm 2{,}232$.

Vergleicht man diese Zahlen mit denen bei den Konduktorinnen für Deuteranomalie gefundenen Werten, so sieht man, daß sie ungefähr von der gleichen Größenordnung sind. Eine weitere mathematische Behandlung dieser Werte ist bei der kleinen Zahl der Fälle nicht angängig. Auch hier besteht für die Schwellen der beiden untersuchten Farben keine sichere Beziehung bei derselben Versuchsperson.

C. Konduktorinnen für Deuteranopie.

Tabelle 9.

Fall Nr.	Schwellen		Anomaloskop		
	Rot	Grün	von	bis	Mittel
45	8,2	16,5	57	55	56
46	8,2	19,2	56	—	56
47	6,7	64,6	60	—	60
48	9,7	18,4	55	—	55
49	11,6	48,4	64	63	63,5
50	27,1	26,4	55	—	55
51	5,8	22,7	60	—	60

Konduktorinnen für Deuteranopie wurden 7 untersucht. Für die Rotschwelle liegt 1 außerhalb der Streuung, für die Grünschwelle

2 Fälle. Unter Ausschluß dieser Fälle erhält man für den Mittelwert für Rot 8,37 ± 0,775 und für Grün 22,064 ± 1,004.

D. Konduktorinnen für Protanomalie.

Tabelle 10.

Fall Nr.	Schwellen		Anomaloskop		
	Rot	Grün	von	bis	Mittel
52	5,8	18,0	57,5	—	57,5
53	10,6	23,5	61	—	61
54	27,9	28,2	61	—	61
55	14,3	16,8	56	—	56
56	7,9	11,3	60,5	—	60,5
57	6,7	11,3	58	—	58
58	10,6	45,8	58	55	56,5
59	14,3	24,0	58	—	58

Die spezifische Farbenschwelle konnte bei 8 Konduktorinnen (Tab. 10) für Protanomalie untersucht werden. Im ganzen hatten 3 eine Rotschwelle außerhalb der physiologischen Streuung.

Die Mittelwerte für alle 8 Fälle betrugen für die Rotschwelle 12,26 ± 2,34, für diejenigen Fälle innerhalb der normalen Streuung 8,32 ± 0,88.

Hinsichtlich der Grünschwelle wurde nur in einem Falle eine sicher erhöhte Schwelle gefunden, für die übrigen ein Mittelwert von 19,01 ± 2,28.

Die Differenz gegenüber dem normalen Mittelwert für die Grünschwelle beträgt nur 1,94; *m*-diff. ± 2,52, der Wert von *k* beträgt 0,768. Es ergibt sich daher, daß bei den Konduktorinnen für Protanomalie im allgemeinen keine Erhöhung der Grünschwelle nachweisbar ist; auch ist die Schwellenhöhe für Rot und Grün bei derselben Person sehr verschieden.

E. Konduktorinnen für extreme Protanomalie.

Konduktorinnen für extreme Protanomalie konnten nur zwei untersucht werden. Die Rotschwelle betrug im einen Fall 2,2, im zweiten 12,2, war also im ersten Fall erniedrigt, im zweiten Fall sicher erhöht.

Die Grünschwelle betrug im ersten Fall 21,7, im zweiten Fall 27,9. Beide Werte liegen also innerhalb der normalen Grenzen.

F. Konduktorinnen für Protanopie.

Bei den Konduktorinnen für Protanopie fand sich unter 10 Fällen die Rotschwelle 4mal sicher erhöht. Für den Mittelwert ergibt sich 12,81 ± 2,19, für die 6 Fälle innerhalb der physiologischen Streuung 7,68 ± 0,80 (s. Tab. 11).

Tabelle 11.

Fall Nr.	Schwellen		Anomaloskop		
	Rot	Grün	von	bis	Mittel
62	19,2	28,2	59	59	59
63	6,1	24,5	59	55	57
64	19,2	21,7	63	—	63
65	27,1	50,0	63	59	61
66	11,0	—	62	61	61,5
67	8,2	20,0	58	54	56
68	5,3	21,7	56	54	55
69	6,4	27,1	62	60	61
70	9,1	23,5	60	—	60
71	16,5	26,0	60	—	60

Von den 9 auf die Grünschwelle untersuchten Fällen zeigte einer eine wesentlich erhöhte Schwelle, für die übrigen ergibt sich ein Mittelwert von 24,09 $\pm$ 0,954. Die Differenz gegenüber dem normalen Mittelwert beträgt 7,02 bei einem mittleren Fehler von *m*-diff. $\pm$ 1,41. Der Wert von *k* beträgt 4,98. Da die Differenz größer ist als 3 mal 1,41, so scheint also bei den Konduktorinnen für Protanopie die Grünschwelle durchschnittlich etwas erhöht zu sein, wenn auch bei der nicht sehr großen Zahl der Fälle ein Schluß nur mit aller Reserve gezogen werden darf.

3. Zusammenfassung der Resultate.

Tabelle 12.

Konduktorinnen für	Zahl der untersuchten Fälle		Fälle mit Schwelle außerhalb der physiologischen Streuung				Mittelwerte der spezif. Schwelle		Mittelwerte der spezif. Schwelle (mit Ausschluß der Fälle mit sicher erhöhter Schwelle)	
	Rotschwelle	Grünschwelle	Rot		Grün					
			Zahl	in %	Zahl	in %	Rot	Grün	Rot	Grün
DA . .	34	34	7	20,60	2	5,88	10,87	24,80	7,13	22,66
EDA .	8	8	2	25,00	1	12,50	9,97	21,78	6,20	26,14
D . .	7	7	1	14,28	2	28,57	11,04	30,88	8,37	20,64
PA . .	8	8	3	37,50	1	12,50	12,26	22,36	8,32	19,01
EPA .	2	2	1	50,00	0	—	—	—	—	—
P . .	10	9	4	40,00	1	11,11	12,81	26,96	7,68	24,09

In Tab. 12 sind die erhaltenen Resultate der Schwellenbestimmungen an Konduktorinnen zusammengestellt. Wenn auch bei der relativ kleinen Zahl in den seltenen Gruppen Schlüsse nur mit Vorbehalt erfolgen dürfen, so fällt doch auf, daß gewisse übereinstimmende Resultate erhalten wurden. Einmal zeigt sich, daß die Rotschwelle in der D-Gruppe in $^1/_7$ der Fälle über der oberen Grenze der normalen Streuung liegt und daß in der P-Gruppe $^1/_3$—$^1/_2$ eine sicher erhöhte Schwelle aufweisen.

Bei der Grünschwelle sind die Resultate wesentlich wechselnder, was, wie bereits betont, mit den schon normalerweise großen Schwankungen bei der Bestimmung dieser spezifischen Schwelle zusammenhängen dürfte.

Betrachtet man die Mittelwerte der spezifischen Schwellen bei sämtlichen untersuchten Fällen, so zeigt sich eine auffallende Übereinstimmung der erhaltenen Werte.

Ein prinzipieller Unterschied in den einzelnen Gruppen läßt sich nicht herauslesen.

Vergleicht man nun die am Stupho erhaltenen Schwellenwerte mit den Einstellungen am Anomaloskop, so ergibt sich aus den Angaben in den Tab. 7—11, daß kein Zusammenhang zwischen den Schwellenwerten und den Einstellungsbreiten am Anomaloskop besteht, wie dies auch bereits von *Engelking* insbesondere bei Anomalen gefunden worden ist. Dagegen fällt auf, daß die Gleichungen etwas gegen Grün zu verschoben sind.

Um dies sicherzustellen, wurde an 100 Normalen die Einstellung der Rayleigh-Gleichung am Anomaloskop bestimmt, der erhaltene Mittelwert betrug $61{,}2 \pm 0{,}08$. Berechnet man dagegen aus der Einstellung der Rayleigh-Gleichung der Konduktorinnen für Deuteroanomalie den Mittelwert (s. Tab. 13), so erhält man $59{,}2 \pm 0{,}3$. Die Differenz der beiden Mittelwerte (m-diff.) beträgt 2,0, deren mittlerer Fehler $\pm 0{,}31$. Die Differenz ist daher wesentlich größer als der um das Dreifache vermehrte mittlere Fehler. Es bestätigt sich also auch auf variationsstatistischem Wege, daß die Konduktorinnen für Deuteranomalie eine nach Grün zu verschobene Rayleigh-Gleichung besitzen.

Tabelle 13. Mittelwerte der Rayleigh-Gleichungen.

DA	$59{,}20 \pm 0{,}3$
EDA	$59{,}10 \pm 0{,}6$
D	$59{,}90 \pm 0{,}4$
PA	$58{,}50 \pm 0{,}2$
EPA	$(59{,}00 \pm —)$
P	$59{,}25 + 0{,}7$
Für alle Konduktorinnen	$59{,}20 \pm 0{,}4$
Für 100 Normale	$61{,}20 \pm 0{,}08$

Bemerkenswert ist auch, daß die Konduktorinnen sehr häufig am Anomaloskop Grün sehr spät als solches erkennen; sie erhalten zwar meist bald bei stärkerer Grünzumischung eine Farbendifferenz, benennen sie aber falsch.

Zahlenmäßig läßt sich diese Erscheinung nur sehr schwer fassen. Sie dürfte wohl mit der häufig konstatierten Erhöhung der spezifischen Schwelle in Zusammenhang stehen.

Auch bei den übrigen Konduktorinnen ist, wie die Tab. 7—11 zeigen, der Mittelwert für die eingestellte Rayleigh-Gleichung ungefähr von der gleichen Größenordnung, so daß also allgemein für sämtliche Konduktorinnen im Durchschnitt eine Verschiebung der Rayleigh-Gleichung gegen Grün zu vorhanden ist (Tab. 13). Damit hat sich die von *Waaler* gefundene Tatsache, daß Konduktorinnen häufig eine nach Grün zu verschobene Rayleigh-Gleichung aufweisen, erhärten lassen.

Schlußfolgerungen.

Die Untersuchung der spezifischen Farbenschwelle für Rot und Grün am Stufenphotometer hat bezüglich des Farbensinnes bei Konduktorinnen folgendes ergeben:

1. Bei allen Gruppen der Konduktorinnen findet sich in einem Teil der Fälle eine sicher erhöhte spezifische Farbenschwelle, und zwar in der Deuteranopen-Gruppe für Rot in etwa 14%; für Grün schwanken die Zahlen zwischen 6 und 28%. In der Protanopen-Gruppe läßt sich eine sichere Erhöhung der Rotschwelle in etwa 40% der Fälle nachweisen, für Grün in 11—12%.

2. Die mittleren Schwellenwerte für diejenigen Fälle, welche innerhalb der physiologischen Streuung der spezifischen Schwelle liegen, sind durchweg höher als diejenigen für den Normalen. Variationsstatistisch läßt sich aber ein essentieller Unterschied nicht mit Sicherheit herauslesen.

3. Der Mittelwert der eingestellten Rayleigh-Gleichung ist bei allen Konduktorinnen, auch bei denen der Protanopen-Gruppe, nach Grün zu verschoben.

Damit hat sich die von *Nettleship* und *Fleischer* geäußerte Ansicht, daß bei den Konduktorinnen Abweichungen des Farbensinnes vorkommen, bestätigt.

Vom erbbiologischen Standpunkte aus sind wir deshalb berechtigt, anzunehmen, daß die Dominanz des Gens für normalen Farbensinn häufig nicht absolut ist. Die zum Teil starke Verschiebung der Rayleigh-Gleichung nach Grün zu macht hinsichtlich der Einstellung am Anomaloskop den Eindruck, als ob es sich um Übergangsformen zur Deuteranomalie handeln könnte. Sie unterscheiden sich aber von den DA durch das bessere Lesen der Ishihara-Tafeln, wobei allerdings manchmal kleine Fehler unterlaufen, insbesondere bei Tafel IV und V.

Bemerkenswert ist, daß wir bei den von uns untersuchten Fällen von Deuteranomalie bei Knaben in Übereinstimmung mit *Franceschetti*, *v. Planta* und *Brunner* wiederum keine Übergänge zum Normalen gefunden haben. Da beim Manne nur ein X-Chromosom bzw. die Veränderung eines Gens für die Entstehung einer Farbensinnstörung verantwortlich ist, so läßt sich die Vermutung hegen, daß die Tatsache des fast völligen Fehlens von Übergängen zwischen normalen und anomalen

Trichromaten dadurch bedingt ist, und erst eine Verschiebung des betreffenden Gens von quantitativ bestimmter Größe eine Farbensinnstörung veranlaßt, daß dagegen gewissermaßen jenseits dieser Schwelle nach der *Goldschmidt*schen Theorie sämtliche weiteren Störungen bis zur Dichromasie in kontinuierlicher Reihe vorkommen.

Im Gegensatz dazu kann man annehmen, daß bei den Frauen durch das Zusammenwirken eines normalen Gens mit einem Gen für Farbensinnstörung Übergänge vorkommen können, welche als Ausdruck des Zusammenwirkens der beiden Gene wiederum im Sinne der *Goldschmidt*schen Anschauungen sich deuten lassen.

Literaturverzeichnis.

Brückner, A., Chromatopsimetrie. Graefe-Saemisch, Handbuch der gesamten Augenheilkunde. 2. Aufl., **4** I, 390 (1904). — *Brückner, A.*, u. *R. Kirsch*, Untersuchungen über die Farbenzeitschwelle. Z. Sinnesphysiol. **46**, 229 (1912). — *Brückner, A.*, Neuere Forschungen über angeborene Farbensinnstörungen. Schweiz. med. Jb. **15** (1932). — *Brunner, W.*, Über den Vererbungsmodus der verschiedenen Typen der angeborenen Rot-Grünblindheit. Graefes Arch. **124**, 1 (1930). — *Bull, O.*, Studien über Licht- und Farbensinn. Graefes Arch. **27** (1), 54 u. 90 (1881). — Die chromatoptometrische Tabelle. Christiania: Aschehong 1882. Ref. Nagels Jahresber. **1882**, 224. — *Candian, F. L.*, La soglia di eccitamento dei colori semplici dello spettro nei normali. Gradi di passagio verso le anomalie. Ateneo parm. **2**, 233 (1930); Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 76 (1931). — *Donders, F. C.*, Die quantitative Bestimmung des Farbenunterscheidungsvermögens. Graefes Arch. **23** (4), 282 (1877) — Quantitative Bestimmung des Farbensinnes. Ber. ophthalm. Ges., 10. Vers., Heidelberg **1877**, 182. — La détermination numérique du pouvoir de distinguer les couleurs. Annales d'Ocul. **79**, 275 (1878). — *Engelking, E.*, Über die Bedeutung von Schwellenwertbestimmungen für die praktische Beurteilung des Farbensinnes. Klin. Mbl. Augenheilk. **74**, 68 (1925). — Über den Verlauf der Eichwertkurven bei den anomalen Trichromaten. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, (Beilageheft), 209 (1927). — *Fleischer, B.*, Über die Vererbung geschlechtsgebundener Krankheiten. 42. Vers. dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg 4 (1920). — *Franceschetti, A.*, Die Bedeutung der Einstellungsbreite am Anomaloskop für die Diagnose der einzelnen Typen der Farbensinnstörungen. Schweiz. med. Wschr. **58**, 1273 (1928) — Über die Dominanzverhältnisse bei der Vererbung angeborener Farbensinnstörungen. Ber. Physiol. **50** (1929) — Die Vererbung von Augenleiden. Kurzes Handbuch der Ophthalmologie von Schieck u. Brückner **1**, 631 (1930). — *Guttmann, A.*, Untersuchungen über Farbenschwäche. Z. Sinnesphysiol. **42**, 24 u. 250; **43**, 146, 199 u. 225 (1908). — *Hess, C. v.*, Die relative Rotsichtigkeit und Grünsichtigkeit. Graefes Arch. **105**, 137 (1921). — *Kawakami, R.*, Med. Z. der Keio-Univ. **2**, (1922). — *Koellner, H.*, Über das Grenzgebiet zwischen normalem Farbensinn und Farbenschwäche. Ber. ophthalm. Ges., 37. Vers., Heidelberg **1911**, 245 — Die Störungen des Farbensinnes und ihre klinische Bedeutung und ihre Diagnose. Berlin; Karger 1912 — Über die Übergänge zwischen normalem Farbensinn und angeborener Rot-Grünblindheit und über die Möglichkeit ihrer quantitativen Bestimmung. Arch. Augenheilk. **78**, 302 (1914/15) — Zur Analyse der Rayleigh-Gleichung der anomalen Trichromaten. Arch. Augenheilk. **84**, 177 (1919). — *Köllner* u. *Engelking*, Die Abweichungen des Farbensinnes. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie v. Bethe u. Bergmann **12** I, 502 (1929). —

Kolbe, C., Farbensättigungstafeln zur graduellen Abschätzung der Farbenblindheit. Petersburg u. Leipzig 1885. — *Kries, J. v.*, Über einen Fall von einseitiger angeborener Deuteranomalie (Grünschwäche). Z. Sinnesphysiol. **50**, 137 (1919). — *Miles, W.*, One hundred cases of color blindness detected with the Ishihara test. J. gen. Psychol. **2**, 535 (1929); Ref. Zbl. Ophthalm. **23**, 175 (1930). — *Müller, H. K.*, u. *R. Pflimlin*, Über den Einfluß des Sympathicus auf den Eiweißgehalt des Kammerwassers. Arch. Augenheilk. **100/101**, 91 (1929). — *Panico, E.*, Variazioni dell' equazione di Rayleigh. Boll. Ocul. **10**, 302 (1931). — *v. Planta*, Die Häufigkeit der angeborenen Farbensinnstörungen bei Knaben und Mädchen und ihre Feststellung durch die üblichen klinischen Proben. Graefes Arch. **120**, 253 (1928). — *Pütter*, Die Auswertung zahlenmäßiger Beobachtungen in der Biologie. Berlin u. Leipzig: De Gruyter 1929. — *Pulfrich, C.*, Z. Instrumentenkde **45**, 118 (1925) u. Zeiß-Druckschrift Mess 430c: Anleitung zum Gebrauch des Stufenphotometers zur Farbbestimmung. — *Raehlmann, E. H.*, Über Verhältnisse der Farbenempfindung bei direktem und indirektem Sehen. Graefes Arch. **20** (1), 15 (1874) — Über den Farbensinn bei Sehnervenerkrankungen. Graefes Arch. **21** (2), 27 (1875) — Über den Daltonismus und die Youngsche Farbentheorie. Graefes Arch. **22** (1), 29 (1876). — *Rosmanit, J.*, Anleitung zur Feststellung der Farbentüchtigkeit. Leipzig u. Wien: Deuticke 1914. — *Sauvineau, Ch.*, Echelle centésimale pour la mensuration du sens chromatique. Annales d'Ocul. **140**, 13 (1908) u. Soc. Franç. d'opht. **25**, 519 (1908). — *Siemens, H. W.*, Eine prinzipiell wichtige Beobachtung über die Vererbung der Farbenblindheit. Klin. Mbl. Augenheilk. **76**, 769 (1926) — Über Manifestationsstörung bei rezessiv-geschlechtsgebundener Farbenblindheit. Sitzgsber. Ges. Morph. u. Physiol. Münch. **37**, 4 (1927); Ref. Zbl. Ophthalm. **18**, 408. — *Silin, J.*, Zur Frage über die Verbreitung von Störungen der normalen Farbempfänglichkeit und die Methode zu deren Bestimmung (russ.). Russk. oftalm. Ž. **9**, 69 (1929); Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 549. — *Speciale-Picciché, P.*, La soglia di eccitamento cromatico (rosso e verde spettrale) nei glaucomatosi. Ann. Ottalm. **55**, 884 (1927). — *Tschermak, A. v.*, Licht und Farbensinn. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie v. Bethe u. Bergmann **12** I (1929). — *Van der Horst, J. J.*, Beiträge zur quantitativen Bestimmung des Farbensinnes. Inaug.-Diss. Amsterdam 1925 (holl.); Ref. Zbl. Ophthalm. **16**, 43. — *Vierling, A.*, Über spektrale Wertbestimmung der Farben durch Schwellenmessung mit dem modifizierten Anomaloskop. Z. Bahnärzte **23**, 261 (1928); Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 729. — *Waaler, G. H. M.*, Über die Erblichkeitsverhältnisse der verschiedenen Arten von angeborener Rot-Grünblindheit. Acta ophthalm. (Københ.) **5**, 309 (1927); Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 792 u. Z. indukt. Abstammgslehre **48**, 244 (1928). — *Wölfflin, E.*, Über Beobachtungen an anomalen Trichromaten. Z. Sinnesphysiol. **54**, 49 (1922) — Über das Vererbungsgesetz der anomalen Trichromaten. Pflügers Arch. **201**, 218 (1923) — Über zwei neue Untersuchungsmethoden von Farbenanomalen. Arch. Augenheilk. **93**, 223 (1923) — Über eine neue Methode zur Bestimmung von Farbenschwellen. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, (Beilageheft), 200 (1927). — *Young, G.*, Threshold tests. Brit. J. Ophthalm. **2**, 384 u. 430 (1918).